霍尔传感器故障造成特高压直流阀组解锁失败案例分析

谢 超 李乾坤 王慧泉

（中国南方电网超高压输电公司广州局 广州 510663）



谢 超 男 1979年生，高级工程师，从事高压直流输电系统运行维护工作。



李乾坤 男 1985年生，工程师，从事直流输电技术管理工作。

摘要：霍尔传感器是特高压直流输电系统中旁路断路器特有的分合闸位置传感元件，在同一极中单阀组运行状态下解锁另一阀组的过程中起到重要作用。本文分析了一起由于霍尔传感器故障造成阀组解锁不成功的案例，提出对霍尔传感器进行定期校验的改进建议。

关键词：特高压直流 霍尔传感器 旁路断路器 解锁失败

中图分类号：TM 45

Analysis of UHVDC Valve Group Deblock Fault Caused by Hall Sensor Failure

Xie Chao Li Qiankun Wang Huiquan

（Guangzhou Bureau CSG EHV Power Transmission Company

Guangzhou 510663 China）

Abstract: Hall sensor is the specific switchposition sensor of bypass-switch in UHV system, and it is important to the process of deblock the single valve group while the anothervalve group is operating in the same pole. In this paper a valve group deblock failure caused by the Hall sensor fault is analized, and the improvement suggestions are proposed to regularly test on Hall sensor.

Keywords: UHVDC, Hall sensor, bypass-switch, deblock failed

1　引言

云广直流输电工程是世界上第 1 回 ±800 kV 特高压直流输电工程 [1]，采用双极 4 阀组设计，每极由 2 个 12 脉动阀组串联组成，通过并联于阀组的旁路断路器的通断，可控制单个阀组独立运行 [2]。

由于旁路断路器需开断额定电压为 400kV、额定电流为 3 150A 的直流电流，目前无论采用有源型和无源型直流断路器均无法直接开断这样的直流电流，需要通过换流阀组的配合，实现直流电流的转移 [3]。在云广直流工程实际运行过程中，出现一起旁路断路器位置传感器故障造成换流阀无法解锁的故障，本文对此故障进行分析，并提出对旁路断路器预防性试验的改进建议。

2　故障现象

2014 年 4 月 2 日 17：46，某 ±800kV 换流站在极 Ⅱ 低端阀组运行状态下，进行极 Ⅱ 高端阀组顺控解锁时，极 Ⅱ 高端阀组旁路断路器 0820（简称 0820）分闸后，极 Ⅱ 高端阀组保护旁路断路器 82BPS 动作，极 Ⅱ 高端阀组启动直流紧急停运控制（Emergency Switch Off，ESOF），0820 重新合闸，极 Ⅱ 高端阀组顺控解锁不成功。

直流场旁路断路器（Bypass Switch，BPS）开关配置旁路断路器保护 I 段（82BPS-I），保护动作逻辑如下：旁路断路器保护 I 段（82BPS-I）动作判据：$|I_{dBPS}|$ > 0.07pu（219A）& Open Bypass Switch Request = 1（或者 Bypass Switch Checkback = 0），T = 50ms，即当组保护收到组控系统分 BPS 开关的命令或者 BPS 开关在分位，同时流过 BPS 开关的电流 I_{dBPS} > 219A 时，旁路断路器保护 I 段（82BPS-I）延时 50ms 动作合上 BPS 开关。

根据录波图 1 可知，17：46：07.030 02 时刻，阀组保护（=22RG11+R1）（简称组保护）收到组控系统分开旁路断路器 0820 的命令，此时组保护软件程序内“22RG11+R1/GC_BPS_OPEN_REQ”信号（即“Open Bypass Switch Request”信号）的开关量由“0”突变为“1”，且该命令持续了约 100ms。

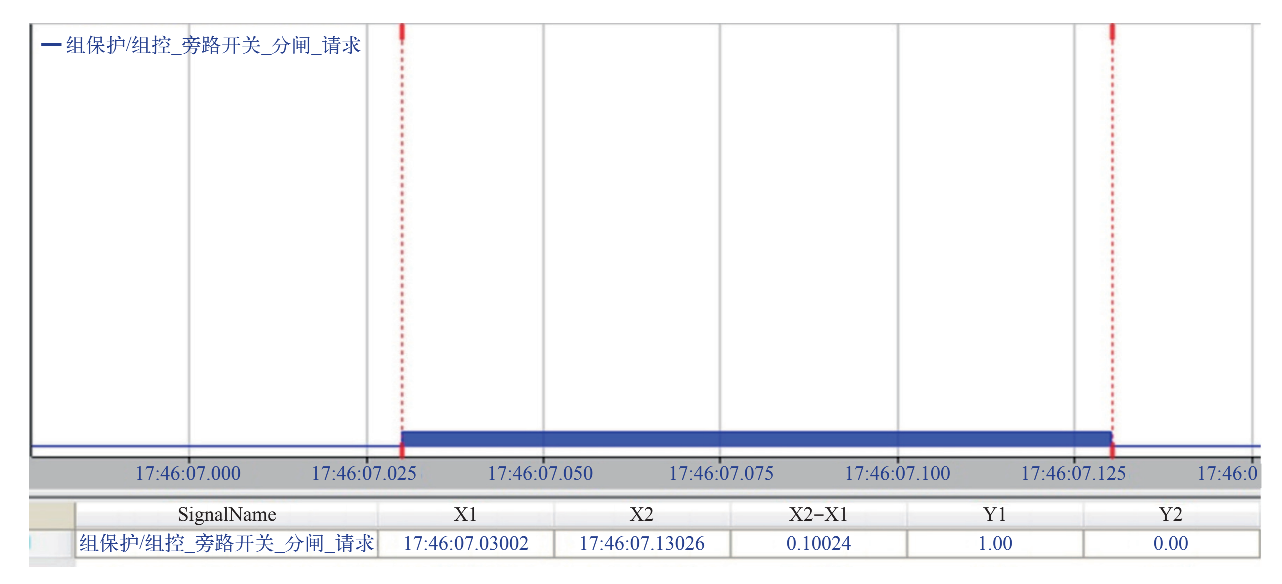
组保护收到分 0820 命令后延时 15ms 开放旁路断路器保护 I 段（82BPS-I），且 17：46：07.058 6 时刻，组保护软件程序内“22RG11+R1/GDCP_BPS_Checkback”信号（即“Bypass Switch Checkback”信号，简称“Checkback”信号）的开关量由“1”突变为“0”，如图 2 所示红色开关量。

在组保护开放期间 I_{dBPS} 电流量由 3 146A 上升到 3 750A，一直满足 $|I_{dBPS}|$ > 0.07pu（219A）判据，经 50ms 延时后，17：46：07.096 时刻，组保护动作合上 0820，如图 3 所示绿色开关量，即“22RG11+R1/CLS_BS_REQ”信号。

结合以上动作情况分析可知，旁路断路器保护 I 段（82BPS-I）正确动作。

3　处理过程

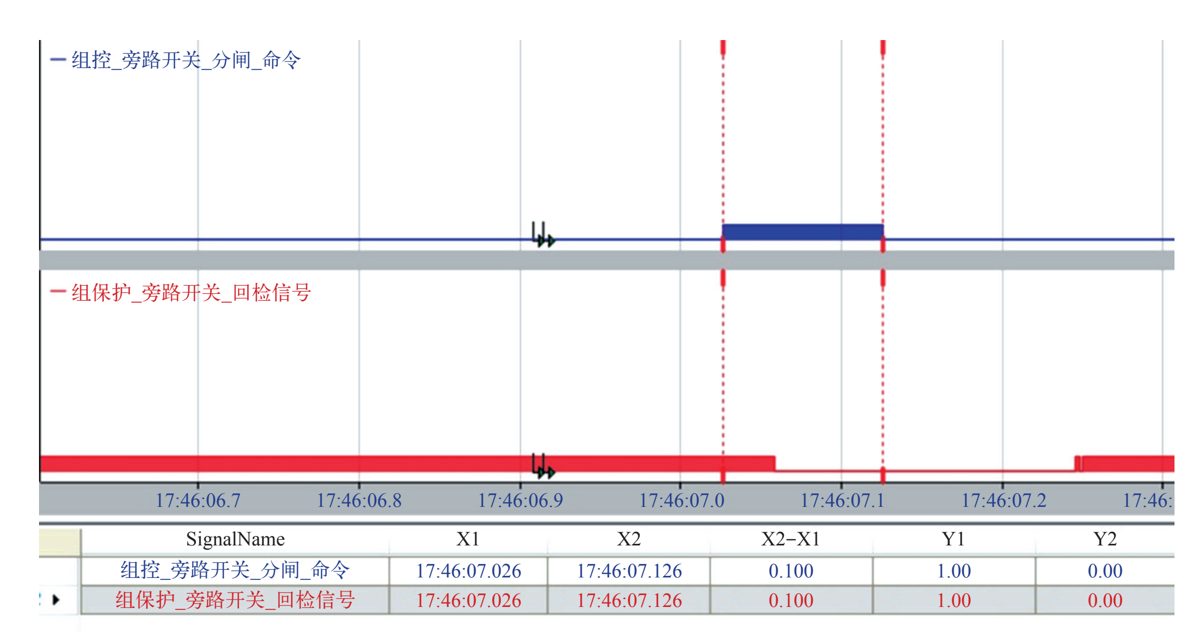
对于特高压直流输电系统，一极的两个阀组其中一个阀组运行，解锁第二个阀组时，需断开第二个阀组的旁路断路器。由于旁路断路器本身的断弧能力有限，因此解锁第二个阀组时，必须依靠阀组



SignalName	X1	X2	X2−X1	Y1	Y2
组保护/组控_旁路开关_分闸_请求	17:46:07.03002	17:46:07.13026	0.10024	1.00	0.00

图 1　“Open Bypass Switch Request”信号持续时间

Fig.1　“Open Bypass Switch Request” signal duration



SignalName	X1	X2	X2−X1	Y1	Y2
组控_旁路开关_分闸_命令	17:46:07.026	17:46:07.126	0.100	1.00	0.00
组保护_旁路开关_回检信号	17:46:07.026	17:46:07.126	0.100	1.00	0.00

图 2 “Checkback”信号持续时间

Fig.2 “Checkback” signal duration



SignalName	X1	X2	X2-X1	Y1	Y2	Y2−Y1
组控_旁路开关_分闸_请求	17:46:07.030	17:46:07.096	0.066	1.00	1.00	0.00
保护组_旁路开关_回检信号	17:46:07.030	17:46:07.096	0.066	1.00	0.00	−1.00
保护组_旁路请求	17:46:07.030	17:46:07.096	0.066	0.00	1.00	1.00
旁路开关电流	17:46:07.030	17:46:07.096	0.066	3145.57	3749.21	603.64

图 3 保护动作时间

Fig.3 Operate time of protection

控制系统的精确控制，使换流阀的触发时序与预解锁阀组旁路断路器的分闸时间紧密配合，确保阀组旁路断路器打开时，流过的电流最小，使阀组旁路断路器电流可靠转移到换流阀上（简称强制移相过程）。

具体原理如下：在一个阀组已处于解锁状态的情况下，为能够使阀组旁路断路器的分合控制与换流阀的触发时序紧密配合，在阀组旁路断路器中设置一个开关位置检测单元，该单元会在开关机构即将完成分合闸前 10ms 发出一个 4 ～ 20mA 的模拟量信号，提前通知阀组控制系统，进行换流阀触发脉冲释放。阀组解锁后首先发出分旁路断路器命令，

不解锁换流阀。阀组旁路断路器接收到分闸命令后启动操作机构进行分闸，在该开关运行 40ms 时，开关位置检测单元给出相应的模拟量信号到阀组控制系统，指示在 10ms 以后开关即将打开。阀组控制系统接收到该模拟量后立即释放触发脉冲，并且保持触发角为 70°。由于解锁阀组的直流侧被阀组旁路断路器短路，解锁阀组加在旁路断路器上的电流与另一阀组产生的电流方向相反。通过试验发现，触发角保持为 70° 解锁后 10ms 产生的冲击电流可以将旁路断路器的电流转移到换流阀上，旁路断路器上流过的电流能够满足开关灭弧能力要求。阀组旁路断路器在换流阀解锁后 10ms 可靠打开，阀组控制系统再延时 6ms 根据整流侧或逆变侧将触发角由 70° 切换到正常状态，第二个阀组解锁成功。组控系统的软件逻辑如图 4 所示。

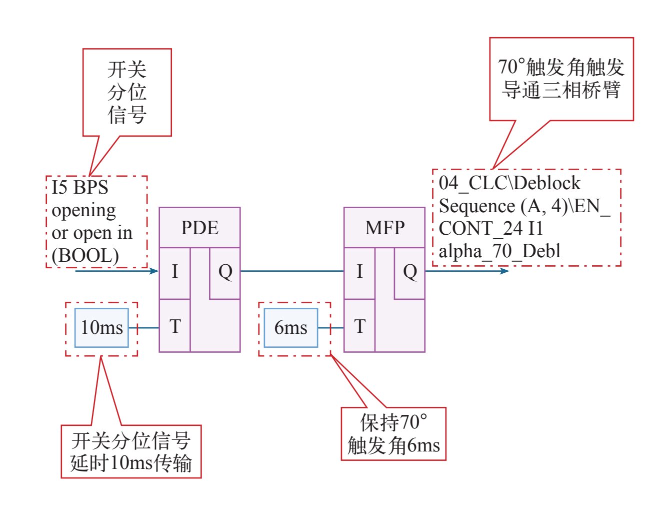
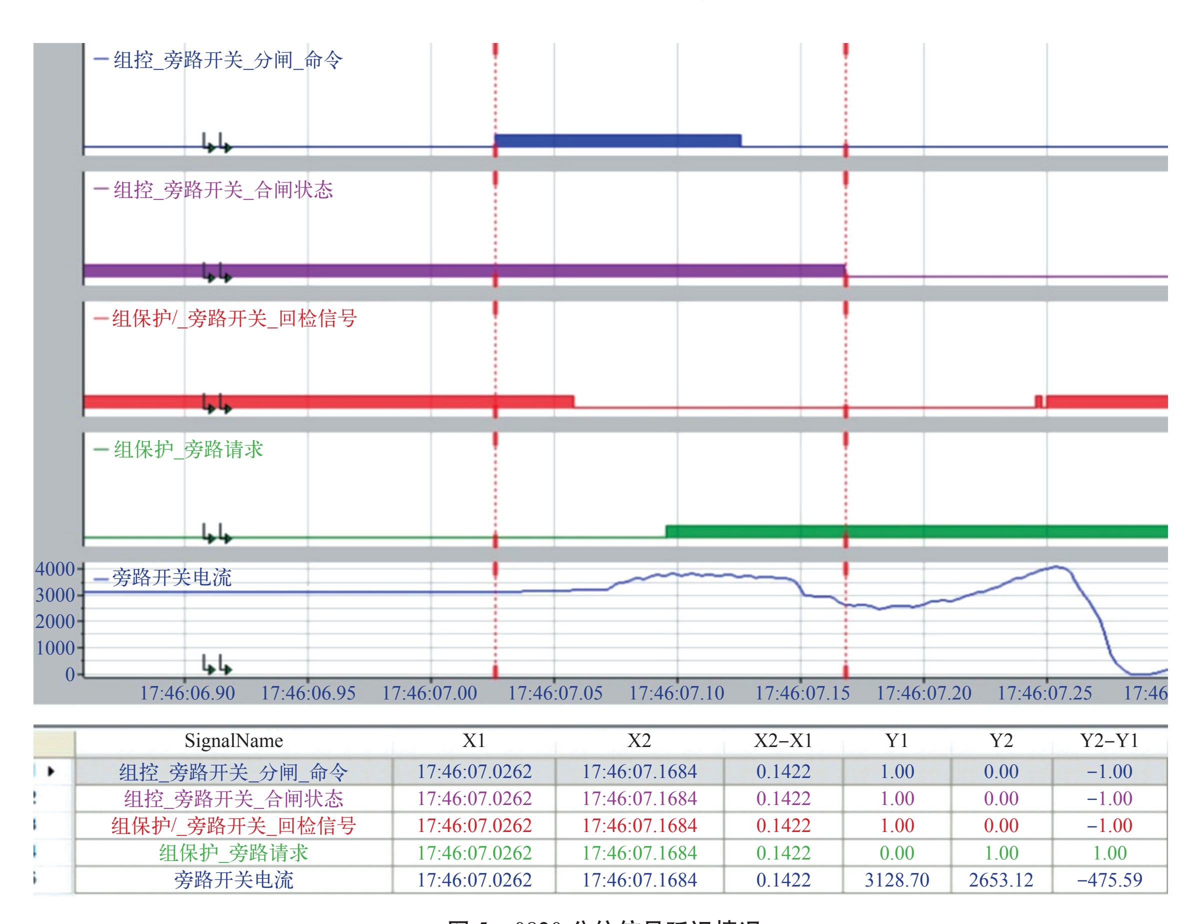


图 4　组控系统的软件逻辑

Fig.4　Software logic of the group control system

由图 5 可见，极 II 高端阀组启动解锁程序，发出分 0820 命令后 65ms 内（组保护从接到 0820 分闸命令到旁路断路器保护 I 段动作的时间间隔为 15ms + 50ms = 65ms），组控系统未收到 0820 分位信号，导致组控系统未能及时启动强制移相过程，使流经 0820 的电流熄弧。因而由于 0820 电流没有降低，一直保持在 3 125A 以上，使组保护的旁路断路器保护 I 段动作，重新合上 0820 并启动阀组 ESOF。此外，由图 5 可见，故障时刻，0820 分位信号延迟了约 143ms 才反馈至组控系统。而正常情况下，旁路断路器分位信号应该在组控系统发出解锁命令后延迟约 40ms 就反馈至组控系统。

旁路断路器本体的位置变送器能随着开关分



SignalName	X1	X2	X2−X1	Y1	Y2	Y2−Y1
组控_旁路开关_分闸_命令	17:46:07.0262	17:46:07.1684	0.1422	1.00	0.00	−1.00
组控_旁路开关_合闸状态	17:46:07.0262	17:46:07.1684	0.1422	1.00	0.00	−1.00
组保护/_旁路开关_回检信号	17:46:07.0262	17:46:07.1684	0.1422	1.00	0.00	−1.00
组保护_旁路请求	17:46:07.0262	17:46:07.1684	0.1422	0.00	1.00	1.00
旁路开关电流	17:46:07.0262	17:46:07.1684	0.1422	3128.70	2653.12	−475.59

图 5　0820 分位信号延迟情况

Fig.5　Delay of 0820 tripping signal

合闸操作，传送 4 ～ 20mA 的模拟量电流信号来表征该开关位置的变化。因此，通过对比组保护“Checkback”信号及组控系统“CLOSED”信号的延迟时间发现，旁路开关机构箱位置变送器没有正常工作，组控系统是通过现场总线收到测控装置上送的位置信号。所以，初步判断是旁路开关上送组控系统的位置变送器出现问题。

由于需要在旁路断路器完成分闸前 10ms 发送位置信号给组控系统，因此无法采用常规断路器的分合闸辅助触头上送信号。组控系统收到的位置信号实际上由固定于断路器的霍尔传感器上送。

霍尔传感器是常用传感器的一种，具有感受磁场的独特能力，电路结构简单、噪声小、体积小、动态范围大、频率范围宽、寿命长等。可以用磁场作为被检测信息的载体，在测量技术中将位移、力、加速度、角度、角速度、转速等非电、非磁物理量转换为电量 [4]。

由霍尔传感器特性可见，其非常适合用于对旁路断路器尚未完全分闸时的非接触位置信号判断。当断路器分合闸时，固定于断路器拐臂上的坡莫合金材质感应头则随着断路器拐臂的运动而动作，如图 6 所示。

坡莫合金的最大特点是具有很高的弱磁场导磁率，当其快速划过霍尔传感器元件（见图 6 箭头）时，霍尔传感器内部产生一个 4 ～ 20mA 的模拟量电流信号，通过感应头安装位置的不同，可以实现反映断路器分合的任何行程的信号上送。



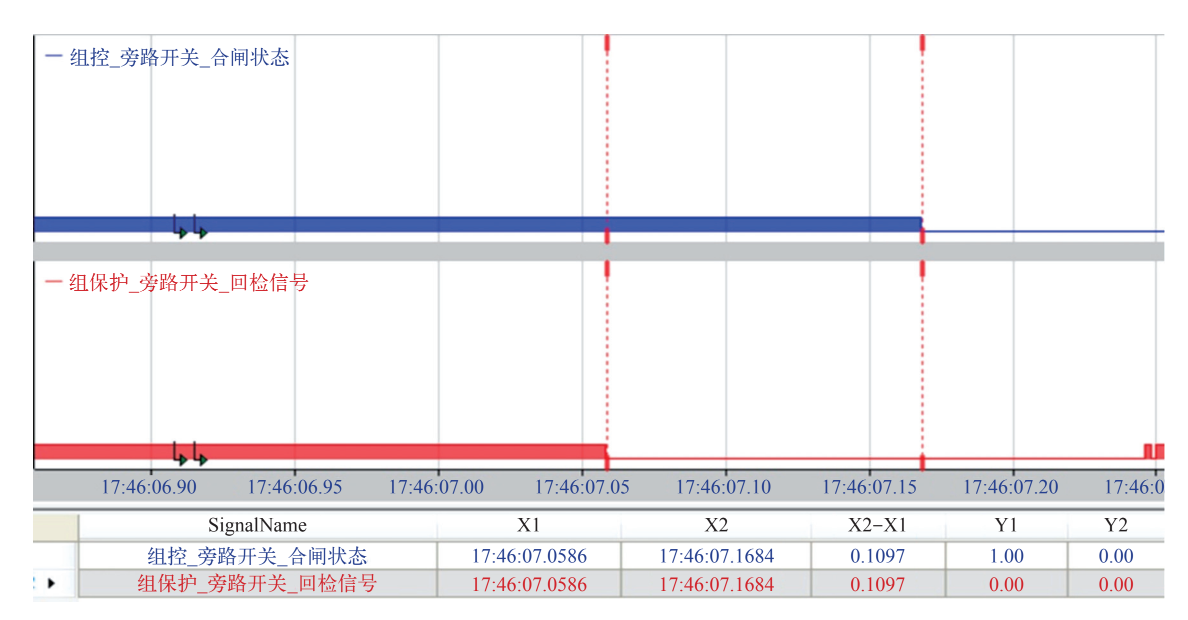
图 6　霍尔传感器位置

Fig.6　Hall sensor position

更换霍尔传感器元件后，重新进行远方分合闸操作，并在操作过程进行录波，查看录波文件发现 0820 与控制保护系统配合时间满足程序要求，具体如图 7 所示。更换后正常解锁该阀组。

4　结束语

从此次阀组解锁不成功案例分析可知，旁路断路器的位置变送器在极 I 的两个阀组中的其中一个阀组上运行，解锁第二个阀组时对控制系统起到重要作用。目前现有的各种断路器检验规程对此种霍尔传感器原理的位置变送器均无检验要求，常规预试项目中，测量断路器分合闸时间只是测量触头分合时间，对信号上送时间没有测量要求，因此建议



SignalName	X1	X2	X2−X1	Y1	Y2
组控_旁路开关_合闸状态	17:46:07.0586	17:46:07.1684	0.1097	1.00	0.00
组保护_旁路开关_回检信号	17:46:07.0586	17:46:07.1684	0.1097	0.00	0.00

图 7　0820 分位信号正常送出情况

Fig.7　Normal delivery of 0820 tripping signal

在对旁路断路器进行预防性试验测试断路器分合闸动作时间时，还应测量该位置信号上送时间，确保分合位信号输出正常。

参考文献

[1] 许爱东，柳勇军，吴晓辰．±800 kV 云广特高压直流安全稳定控制策略研究 [J]．南方电网技术，2008，2(5)：14-18．
Xu Aidong, Liu Yongun, Wu Xiaochen. Study on security and stability control strategy for ±800 kV Yun-Guang UHVDC transmission[J]. Southern Power System Technology, 2008, 2(5): 14-18.

[2] 高文．特高压直流输电系统用开关设备研发现状与结构分析 [J]．高压电器，2012，48(11)：134-138．
Gao Wen. Development and structure analysis of the switchgear applied to UHVDC transmission system[J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(11): 134-138.

[3] 陈育中．霍尔传感器测速系统的设计 [J]．科学技术与工程，2010，30(10)：7529-7532．
Chen Yuzhong. Design of the velocity measuring system of hall sensor[J]. Science Technology and Engineering, 2010, 30(10): 7529-7532.

[4] 王帮田．高压直流断路器技术 [J]．高压电器，2010，46(9)：61-64，68．
Wang Bangtian. Technology of HVDC circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(9): 61-64, 68.

（上接第 44 页）

Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 66-70.

[5] 蒋陆萍，曾祥君，李泽文，等．基于 GPS 实现电力系统高精度同步时钟 [J]．电网技术，2011，35(2)：201-206．
Jiang Luping, Zeng Xiangjun, Li Zewen, et al. Realization of high accuracy synchronous clock for power system based on GPS[J]. Power System Technology, 2011, 35(2): 201-206.

[6] 杨贵玉，江道灼，邱家驹．相角测量装置的同步测量精度问题 [J]．电力系统自动化，2003，27(14)：57-61．
Yang Yugui, Jiang Daozhuo, Qiu Jiaju. Synchronous measurement precision of phasor measurement unit[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(14): 57-61.

[7] IEEE 1588—2000 IEEE standard for a precision clock synchronization protocol for networked measurement and control systems[S]. 2003.